

Perbandingan Hasil Analisa Stabilitas Lereng 2D dan 3D terhadap Jumlah Kebutuhan Perkuatannya

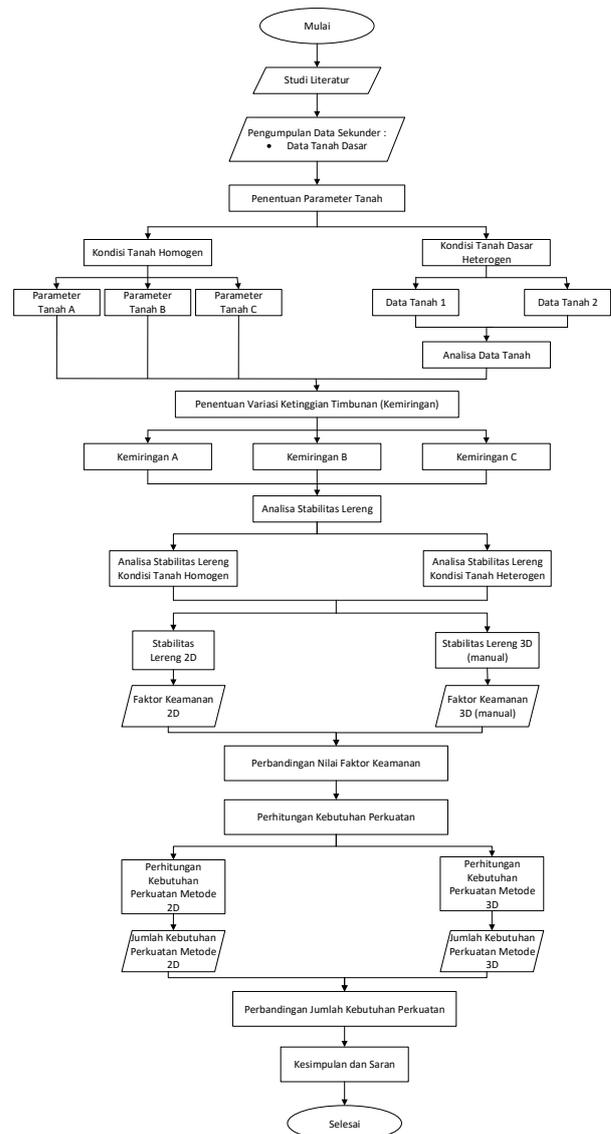
Nur'Arfiati Shoffiana, Putu Tantri Kumala Sari, dan Yudhi Lastiasih
 Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: tantrigeoteknik@gmail.com

Abstrak—Analisa stabilitas lereng umumnya dilakukan para perencana berdasarkan *Limit Equilibrium Method (LEM)* dua dimensi (2-D) karena kesederhanaannya. Pada analisa stabilitas lereng 2-D, bidang longsor yang terjadi diasumsikan memiliki panjang tidak terbatas atau menerus, kenyataannya longsor yang terjadi di lapangan seringkali tidak menerus dan setempat. Oleh karena itu, asumsi yang digunakan pada analisa stabilitas lereng 2-D menjadi kurang tepat dan kondisi tiga dimensi (3-D) menjadi lebih sesuai untuk digunakan saat perencanaan. Analisa stabilitas lereng 3-D telah diusulkan oleh berbagai peneliti sejak tahun 1960-an. Sebagian besar hasil penelitian sebelumnya menyatakan bahwa rasio faktor keamanan 3-D dan 2-D adalah lebih dari satu untuk tanah kohesif dan kurang dari satu untuk tanah non kohesif. Faktor keamanan akan mempengaruhi jumlah kebutuhan perkuatan lereng sehingga perbedaan faktor keamanan yang diperoleh dari analisa 2-D dan 3-D akan menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah kebutuhan perkuatan yang diperoleh. Berdasarkan permasalahan diatas, maka dilakukan analisa perbandingan stabilitas lereng 2-D dan 3-D terhadap jumlah kebutuhan perkuatannya. Analisa stabilitas lereng 2-D dilakukan menggunakan metode LEM yaitu metode irisan biasa yang dikemukakan oleh Fellenius (1936). Sedangkan analisa stabilitas lereng 3-D dilakukan menggunakan perumusan yang dikemukakan oleh Hovland (1977). Metode ini memperluas metode irisan biasa (Fellenius, 1936) sehingga dapat dibandingkan dengan analisa stabilitas 2-D. Perbandingan jumlah kebutuhan perkuatan dalam *research* ini dilakukan menggunakan geotextile dengan $Tult = 200 \text{ kN/m}$. Hasil yang diperoleh adalah pada tanah homogen, jumlah kebutuhan perkuatan dengan geotextile antara analisa 2D dan 3D relatif sama. Sedangkan untuk tanah heterogen jumlah kebutuhan perkuatan dengan geotextile antara analisa 2D dan 3D berbeda-beda. Pada kondisi tertentu, kebutuhan perkuatan 2D lebih besar daripada 3D dan pada kondisi tertentu lainnya kebutuhan perkuatan 2D lebih sedikit daripada 3D. Perbedaan jumlah kebutuhan perkuatan analisa 2D dan 3D adalah antara 1-8 lapis geotextile yang tergantung dari parameter tanah, kemiringan lereng, dan panjang bidang longsor.

Kata Kunci—Stabilitas Lereng, LEM, Faktor Keamanan, Perkuatan Geotextile.

I. PENDAHULUAN

SALAH satu visi Presiden Joko Widodo dan Wakil Presiden Ma'ruf Amin adalah pembangunan infrastruktur. Hal ini disampaikan beliau pada saat memberikan pidato seusai terpilih menjadi Presiden Indonesia periode 2019-2024 pada tanggal 17 Juli 2019 di *Sentul International Convention Center*, Bogor, Jawa Barat. Salah satu pembangunan infrastruktur besar yang disebutkan dalam pidato tersebut adalah pembangunan jalan tol. Dalam pelaksanaannya, perlu dilakukan penyesuaian alinyemen jalan karena banyak jalan tol yang dibangun di atas bukit atau di dalam lembah. Kondisi tersebut menyebabkan jalan yang



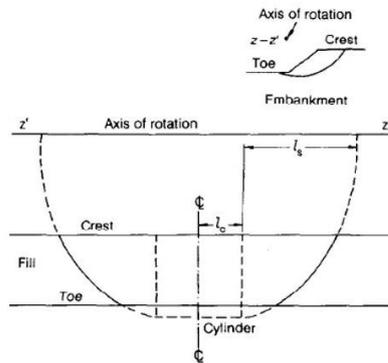
Gambar 1. Diagram alir penelitian.

bersangkutan harus dibangun di atas timbunan atau di dalam galian.

Timbunan harus stabil yang berarti tanah dasar mampu menahan gaya dorong yang ditimbulkan oleh beban timbunan sehingga tidak akan terjadi kerusakan pada infrastruktur di atasnya. Begitu juga lereng dari galian harus stabil agar jalan yang dibangun di dalam galian tidak rusak oleh kelongsoran lereng yang berada disebelah kanan dan kiri jalan tersebut. Kestabilan lereng ditentukan dari besarnya faktor keamanan yang dapat dihitung dengan analisa stabilitas lereng. Oleh sebab itu, analisa stabilitas lereng tersebut sangat diperlukan dalam perencanaan timbunan atau galian.

Tabel 1.
Data tanah untuk tanah homogen

Parameter Tanah	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Parameter Tanah A	20	0	40
Parameter Tanah B	16,88	14,4	25
Parameter Tanah C	17,74	28,7	15

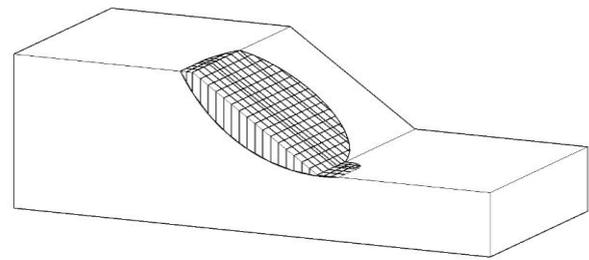


Gambar 2. Tampak depan bidang longsor 3D.

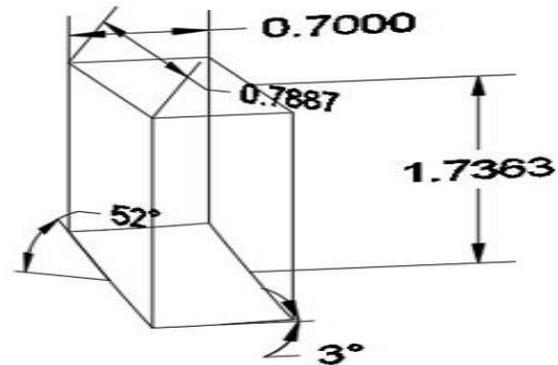
Stabilitas lereng dapat dianalisa dengan menggunakan beberapa metode keseimbangan diantaranya adalah metode keseimbangan batas atau *limit equilibrium method* (LEM), metode elemen hingga atau *finite element method* (FEM), metode beda hingga atau *finite difference method* (FDM), metode elemen diskrit atau *discrete element method* (DEM), dan lain-lain. Semua metode tersebut dapat dilakukan dengan pendekatan dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Metode yang paling umum digunakan adalah metode 2D karena metode ini menyederhanakan geometri lereng yang terjadi sesungguhnya di lapangan yaitu dengan mengubah kemiringan 3D alami menjadi kemiringan 2D. Dengan demikian, asumsi yang digunakan adalah longsor yang terjadi memiliki panjang tidak terbatas atau menerus. Faktanya kelongsoran yang terjadi di lapangan adalah setempat dan tidak menerus sehingga lebih sesuai dengan kondisi 3D.

Penelitian mengenai stabilitas lereng dengan pendekatan 3D telah banyak dilakukan oleh para peneliti dari tahun 1960-an hingga saat ini, khususnya pada metode LEM seperti metode Bishop, Fellenius, Janbu, Morgenstern dan Price, dan Spencer. Beberapa peneliti mengembangkan teori stabilitas lereng berdasarkan Bishop (1955) [1-4]. Sedangkan penelitian lain mengembangkan teori stabilitas lereng berdasarkan Fellenius (1936) [2-6]. Selain itu, pengembangan stabilitas lereng berdasarkan Janbu (1954) juga dikembangkan oleh beberapa peneliti [7-10]. Teori stabilitas lereng dikembangkan oleh Morgenstern dan Price (1965) dan pengembangan teori stabilitas lereng oleh Spencer (1976) [11-14].

Penelitian yang dilakukan oleh Chameau menyatakan bahwa rasio faktor keamanan 3D dan 2D berkisar antara 0,98-1,5 [11]. Sedangkan rasio yang didapatkan dari penelitian berkisar antara 1-1,7 [5]. Pada tahun 2018, hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Bahsan adalah rata-rata rasio faktor keamanan 3D dan 2D sebesar 1,44 [15]. Analisa komparatif nilai faktor keamanan 3D dan 2D di area tambang terbuka dan menghasilkan rasio sekitar 1,17-1,29 [16]. Hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisa dengan metode 2D dan 3D berbeda tergantung pada jenis tanah, asumsi bidang longsor, dan kemiringan lereng yang



Gambar 3. Contoh bidang longsor dan pembagian kolom pias 3D.



Gambar 4. Pembagian dan penentuan dimensi kolom pias bidang longsor 3D pada kolom 5c parameter tanah A ($c = 0$; $\phi = 40^\circ$) kemiringan 1:1,5; $l_s/H = 2$.

dianalisis.

Faktor keamanan akan mempengaruhi perencanaan kebutuhan perkuatan lereng. Perbedaan nilai faktor keamanan yang diperoleh dari analisa metode 2D dan 3D memungkinkan terjadinya perbedaan jumlah kebutuhan perkuatan yang diperoleh. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa terkait pengaruh perbedaan faktor keamanan antara hasil analisa 2D dan 3D terhadap jumlah kebutuhan perkuatan untuk desain stabilitas lereng sehingga dapat diketahui seberapa penting analisa 3D dilakukan untuk menggantikan analisa 2D yang umum digunakan dalam perencanaan.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian *research* ini ditunjukkan pada Gambar 1.

III. ANALISA DATA

A. Analisa Data Tanah Homogen

Data tanah homogen yang digunakan adalah data tanah penelitian sebelumnya [11]. Adapun parameter tanah yang diperlukan yaitu berat jenis tanah (γ_t), harga kekuatan geser (c), dan sudut geser tanah (ϕ) sedangkan data hanya nilai c dan ϕ [11]. Untuk menentukan parameter tanah yang tidak diketahui sebelumnya, dilakukan korelasi data sehingga diperoleh pada Tabel 1.

B. Analisa Data Tanah Heterogen

Data tanah heterogen yang digunakan dalam *research* ini adalah data hasil penyelidikan tanah berupa SPT (*Standard Penetration Test*) di Lapangan. Data tanah heterogen ini merupakan data tanah dasar, sedangkan data tanah timbunan yang digunakan adalah tanah sirtu dengan data sebagai

Tabel 2.
Rekapitulasi parameter tanah untuk data tanah 1

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ (t/m ³)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
0-1,5	Sirtu/Urugan	1,9	0	30
1,5-3,5	Pasir Lanau Berkerikil	1,779	0,35	15
3,5-6,5	Lempung Lanau Berpasir	1,565	0,067	5
6,5-12,5	Pasir Berlanau Berkulit Kerang	1,645	0,323	15,25
12,5-17,5	Pasir Berlanau dan Berlempung Berkulit Kerang	1,97	0,26	22,667
17,5-19,5	Pasir Berlempung Berkulit Kerang	1,895	0,241	23,833
19,5-23,5	Lempung Berlanau	1,59	0,05	10
23,5-27,5	Lempung Berpasir Halus	1,612	0,067	11,667
27,5-30,5	Lempung	1,651	0,1	15

Tabel 3.
Rekapitulasi parameter tanah untuk data tanah 2

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	γ (t/m ³)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
0-4,5	Lempung	1,671	0,069	5,333
4,5-6,5	Lempung Berlanau Berpasir	1,685	0,093	8,889
6,5-9,5	Pasir	1,542	0	29,515
9,5-11	Pasir Berlempung	1,611	0	31,384
11-13	Lempung Kaku	1,732	0,781	28,272
13-18,5	Lempung Berlanau	1,717	0,182	15,516
18,5-23	Lempung	1,644	0,241	14,753
23-30,5	Lempung	1,705	0,501	18,907

Tabel 4.
Rekapitulasi SF 2D, SF 3D, dan perbandingan SF 3D/SF 2D

Parameter Tanah	Kemiringan	SF 2D	ls/H = 1		ls/H = 2		ls/H = 4	
			SF 3D	SF 3D/SF 2D	SF 3D	SF 3D/SF 2D	SF 3D	SF 3D/SF 2D
Parameter Tanah A (c = 0; ϕ = 40°)	1:1,5	1,431	1,305	0,912	1,359	0,950	1,360	0,951
	1:2,5	2,256	1,973	0,875	2,085	0,924	2,136	0,947
	1:3,5	3,167	2,408	0,765	2,838	0,896	2,956	0,939
Parameter Tanah B (c = 14,4 kPa; ϕ = 25°)	1:1,5	1,873	1,890	1,009	1,878	1,003	1,877	1,002
	1:2,5	3,079	3,150	1,023	3,143	1,021	3,107	1,009
	1:3,5	4,300	4,694	1,092	4,403	1,024	4,305	1,001
Parameter Tanah C (c = 14,4 kPa; ϕ = 25°)	1:1,5	2,173	2,486	1,144	2,402	1,105	4,550	1,091
	1:2,5	3,601	4,510	1,252	3,928	1,091	3,747	1,041
	1:3,5	5,046	6,887	1,365	5,691	1,128	5,237	1,038
Data Tanah 1	1:1,5	0,976	1,158	1,187	1,093	1,120	1,089	1,115
	1:2,5	1,496	2,147	1,435	1,783	1,192	1,767	1,181
	1:3,5	2,029	3,815	1,880	3,025	1,491	2,417	1,191
Data Tanah 2	1:1,5	0,854	0,853	0,999	0,814	0,953	0,810	0,948
	1:2,5	0,907	1,101	1,214	0,973	1,073	0,963	1,061
	1:3,5	1,21	1,547	1,279	1,357	1,121	1,295	1,071

berikut:

$\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$
 $c = 0$
 $\phi = 30^\circ$

Data tanah yang diperoleh dari lapangan berupa hasil borlog dilakukan korelasi untuk menentukan parameter tanah yang tidak diketahui sebelumnya. Parameter tanah yang diperlukan yaitu berat jenis tanah (γ_t), harga kekuatan geser (c), dan sudut geser tanah (ϕ). Dalam menentukan parameter tanah, dilakukan korelasi untuk setiap 1 m kedalaman dan selanjutnya dilakukan pengelompokan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah untuk dirata-rata. Adapun rekapitulasi pengelompokan dan korelasi parameter tanah untuk data tanah 1 dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan untuk data tanah 2 dapat dilihat pada Tabel 3.

C. Data Dimensi Timbunan

Variasi dimensi timbunan yang digunakan adalah variasi kemiringan timbunan. Variasi kemiringan lereng yang digunakan disesuaikan dengan kemiringan lereng yang digunakan pada penelitian sebelumnya [11]. Lebar kaki timbunan ditentukan sebesar 10,5 m sehingga tinggi

timbunan yang digunakan adalah sebagai berikut: (a) Kemiringan A (1:1,5, sehingga tinggi timbunan sebesar 7 m). (b) Kemiringan B (1:2,5, sehingga tinggi timbunan sebesar 4,2 m). (c) Kemiringan C (1:3,5, sehingga tinggi timbunan sebesar 3 m).

D. Data Dimensi Bidang Longsor

Bidang longsor 3D yang digunakan berupa silinder pusat dan *ellipsoid* pada ujung (Gambar 2). Silinder memiliki panjang 2lc dan panjang dari *ellipsoid* adalah ls. Dimensi yang digunakan pada analisa ini yaitu lc/H = 0,5 dan ls/H dilakukan variasi untuk 1, 2, dan 4 dimana H merupakan tinggi timbunan.

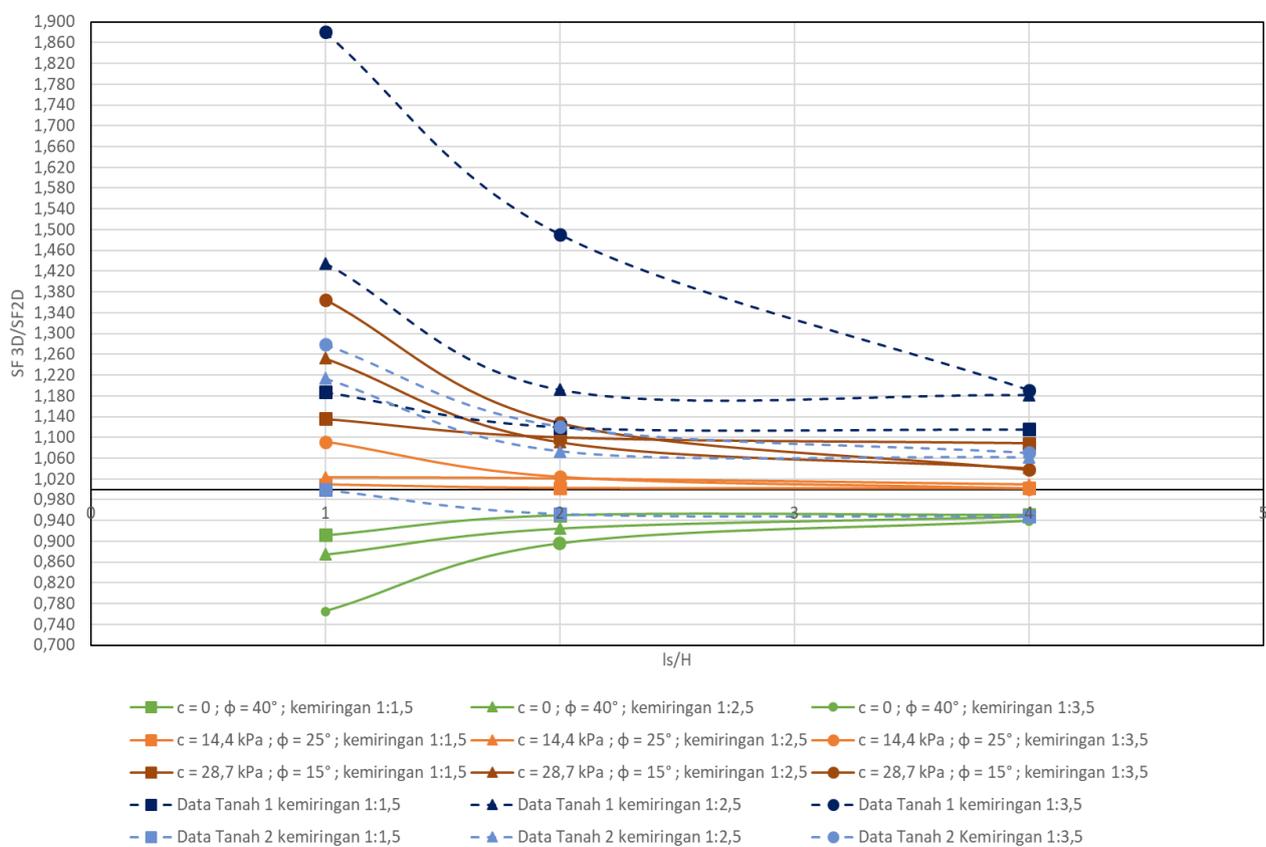
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Stabilitas Lereng Dua Dimensi (2D)

Analisa stabilitas lereng dua dimensi (2D) dilakukan menggunakan program bantu GeoStudio. Analisa dilakukan dengan mengabaikan muka air tanah. Dalam analisa stabilitas lereng ini diperoleh beberapa bidang longsor dan faktor keamanan. Selain itu, dalam permodelan ini juga dapat

Tabel 5.
Rekapitulasi jumlah kebutuhan kekuatan 2D dan 3D

Parameter Tanah	Kemiringan	SF 2D	Perkuatan Geotextile 2D (layer)	ls/H = 1		ls/H = 2		ls/H = 4	
				SF 3D	Perkuatan Geotextile 3D (layer)	SF 3D	Perkuatan Geotextile 3D (layer)	SF 3D	Perkuatan Geotextile 3D (layer)
Parameter Tanah A ($c = 0; \phi = 40^\circ$)	1:1,5	1,431	1	1,305	1	1,359	1	1,360	1
	1:2,5	2,256	-	1,973	-	2,085	-	2,136	-
	1:3,5	3,167	-	2,408	-	2,838	-	2,956	-
Parameter Tanah B ($c = 14,4 \text{ kPa}; \phi = 25^\circ$)	1:1,5	1,873	-	1,890	-	1,878	-	1,877	-
	1:2,5	3,079	-	3,150	-	3,143	-	3,107	-
	1:3,5	4,300	-	4,694	-	4,403	-	4,305	-
Parameter Tanah C ($c = 14,4 \text{ kPa}; \phi = 25^\circ$)	1:1,5	2,173	-	2,486	-	2,402	-	4,550	-
	1:2,5	3,601	-	4,510	-	3,928	-	3,747	-
	1:3,5	5,046	-	6,887	-	5,691	-	5,237	-
Data Tanah 1	1:1,5	0,976	16	1,158	8	1,093	10	1,089	10
	1:2,5	1,496	1	2,147	-	1,783	-	1,767	-
	1:3,5	2,029	-	3,815	-	3,025	-	2,417	-
Data Tanah 2	1:1,5	0,854	21*	0,853	21*	0,814	23*	0,810	23*
	1:2,5	0,907	6	1,101	3	0,973	5	0,963	5
	1:3,5	1,21	2	1,547	-	1,357	-	1,295	1



Gambar 5. Grafik hubungan rasio SF 3D/2D dan ls/H.

diperoleh titik pusat kelongsoran (X dan Y), jari-jari kelongsoran (R), dan momen *resistance* (Mres). Analisa stabilitas lereng 2D dilakukan untuk masing-masing parameter tanah dan kemiringan lereng. Dari beberapa bidang longsor dan faktor keamanan yang diperoleh, dipilih bidang longsor dan faktor keamanan yang memiliki jumlah kebutuhan kekuatan terbanyak.

Tabel 4 menunjukkan rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng 2D untuk masing-masing parameter tanah dan kemiringan. Berdasarkan Tabel 4 tersebut terlihat bahwa untuk parameter tanah B dan C memiliki SF 2D diatas 1,5 (SF > 1,5) untuk semua kemiringan *slope*, sedangkan parameter tanah A untuk kemiringan 1:1,5 masih memiliki SF dibawah 1,5 (SF < 1,5) tetapi untuk kemiringan 1:2,5 dan 1:3,5 sudah mempunyai SF > 1,5. Data tanah 1 memiliki parameter tanah

yang lebih baik dibandingkan dengan data tanah 2, sehingga jelas terlihat bahwa SF untuk data tanah 2 mempunyai SF < 1,5 untuk semua kemiringan sedangkan untuk data tanah 1 hanya terdapat pada kemiringan lereng 1:1,5. Berdasarkan Tabel 4 terlihat pula bahwa semakin curam kemiringan lereng atau dalam hal ini semakin tinggi timbunan maka faktor keamanannya akan semakin kecil untuk semua parameter tanah.

B. Stabilitas Lereng Tiga Dimensi (3D)

Analisa stabilitas lereng tiga dimensi (3D) dilakukan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh [3]. Bidang longsor yang diperoleh dari analisa stabilitas lereng 2D digunakan sebagai dasar pembuatan bidang longsor 3D. Setelah melakukan pembuatan bidang longsor 3D

menggunakan program bantu Autocad, dilakukan pembagian kolom-kolom pias yang dasar pembuatannya juga berasal dari pias pada bidang longsor 2D. Dimensi bidang longsor 3D dilakukan bervariasi untuk $ls/H = 1$, $ls/H = 2$, dan $ls/H = 4$. Contoh bidang longsor dan pembagian kolom pias 3D disajikan pada Gambar 3. Contoh perhitungan faktor keamanan 3D dengan menggunakan perumusan sebagai berikut [3]. Kolom pias 5c parameter tanah A ($c = 0$; $\phi = 40^\circ$) kemiringan 1:1,5; $ls/H = 2$.

Berdasarkan Gambar 4, diperoleh dimensi kolom pias sebagai berikut:

$$\Delta x = 0,7 \text{ m}$$

$$\Delta y = 0,7887 \text{ m}$$

$$z = 1,7363 \text{ m}$$

$$\alpha_{xz} = 3^\circ$$

$$\alpha_{yz} = 52^\circ$$

$$\begin{aligned} \cos(DIP) &= (1 + \tan^2 \alpha_{xz} + \tan^2 \alpha_{yz})^{-1/2} \\ &= (1 + \tan^2 3 + \tan^2 52)^{-1/2} \\ &= 0,6153 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \theta &= (1 - \sin^2 \alpha_{xz} \cdot \sin^2 \alpha_{yz})^{1/2} \\ &= (1 - \sin^2 3 \cdot \sin^2 52)^{1/2} \\ &= 0,9991 \end{aligned}$$

$$\left\{ \frac{c \cdot \Delta x \cdot \Delta y \sin \theta}{\cos \alpha_{xz} \cos \alpha_{yz}} + \rho \cdot z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cos(DIP) \tan \phi \right\} = 0,9899$$

$$\rho \cdot z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \sin \alpha_{yz} = 1,5107$$

Faktor keamanan parameter tanah A ($c = 0$; $\phi = 40^\circ$), kemiringan 1:1,5; $ls/H = 2$

$$F3 = \frac{\sum_x \sum_y \left\{ \frac{c \cdot \Delta x \cdot \Delta y \sin \theta}{\cos \alpha_{xz} \cos \alpha_{yz}} + \rho \cdot z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cos(DIP) \tan \phi \right\}}{\sum_x \sum_y \rho \cdot z \cdot \Delta x \cdot \Delta y \sin \alpha_{yz}} = 1,359$$

Rekapitulasi hasil analisa stabilitas lereng 3D untuk berbagai ls/H serta rasio SF 3D terhadap SF 2D disajikan dalam Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4 tersebut terlihat bahwa untuk parameter tanah B dan C memiliki SF 3D > 1,5 untuk semua kemiringan dan dimensi bidang longsor, sedangkan parameter tanah A untuk kemiringan 1:1,5 masih memiliki SF < 1,5 tetapi untuk kemiringan 1:2,5 dan 1:3,5 sudah memiliki SF > 1,5. Data tanah 1 memiliki SF 3D > 1,5 kecuali pada kemiringan lereng 1:1,5 sedangkan data tanah 2 memiliki SF < 1,5 untuk semua kemiringan dan dimensi bidang longsor. Berdasarkan Tabel 4 juga terlihat bahwa semakin landai kemiringan lereng, maka SF 3D akan semakin meningkat untuk semua parameter tanah dan dimensi bidang longsor.

Rasio SF 3D dan SF 2D juga disajikan seperti Gambar 5 untuk mempermudah analisa. Terlihat bahwa untuk parameter tanah A perbandingan SF 3D dan 2D adalah kurang dari 1 ($SF_{3D}/SF_{2D} < 1$) untuk semua kemiringan lereng dan dimensi bidang longsor. Sedangkan parameter tanah B dan C memiliki perbandingan SF 3D dan 2D lebih dari 1 ($SF_{3D}/SF_{2D} > 1$) untuk semua kemiringan lereng dan dimensi bidang longsor. Data tanah 1 dan 2 memiliki perbandingan SF 3D dan 2D lebih dari 1 untuk semua kemiringan dan dimensi bidang longsor kecuali untuk data

tanah 2 kemiringan 1:1,5. Rasio SF 3D dan 2D yang diperoleh adalah berkisar antara 0,75 hingga 1,9 tergantung dari parameter tanah, kemiringan lereng, dan dimensi bidang longsor.

Dari Gambar 5 juga terlihat bahwa untuk parameter tanah A, semakin panjang bidang longsor (ls/H semakin besar) maka perbandingan SF 3D dan 2D semakin meningkat mendekati 1. Sedangkan untuk parameter tanah B dan C semakin panjang bidang longsor maka perbandingan SF 3D dan 2D semakin menurun mendekati 1. Data tanah 1 dan 2 memiliki perbandingan SF 3D dan 2D yang semakin menurun seiring dengan semakin panjangnya bidang longsor.

Adanya perbedaan SF 3D dan 2D ini mengakibatkan perlu adanya faktor koreksi agar dalam perencanaan desain stabilitas lereng, hasil antara analisa 3D dan 2D menjadi sama. Faktor koreksi didasarkan pada rasio SF 3D dan 2D yang paling kecil. Berdasarkan Tabel 4, parameter A kemiringan 1:3,5 memiliki rasio SF 3D dan 2D yang paling kecil, yaitu 0,765 sehingga rasio tersebut dijadikan acuan dalam menentukan faktor koreksi. Oleh karena itu, untuk mendapatkan SF 2D dan 3D yang sama, maka SF 2D harus dikalikan dengan faktor koreksi sebesar $\frac{1}{0,765}$ atau sebesar 1,31.

C. Perhitungan Jumlah Kebutuhan Perkuatan

Jenis perkuatan yang digunakan dalam *research* ini adalah geotextile dengan Tult sebesar 200 kN/m. Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan geotextile antara lain jumlah perkuatan yang digunakan dalam perencanaan bukan jumlah yang didasarkan pada SF minimum, melainkan jumlah perkuatan terbanyak dari beberapa SF yang diperoleh. Selain itu, perkuatan geotextile di lapangan umumnya dipasang pada tanah non kohesif seperti tanah sirtu karena tanah tersebut mudah untuk dipadatkan. Sangat jarang ditemukan pemasangan geotextile pada tanah lempung. Berikut merupakan contoh perhitungan jumlah kebutuhan perkuatan untuk parameter tanah A kemiringan 1:1,5.

Perhitungan Momen Dorong

$$MD = \frac{M_{res}}{SF} = \frac{3.875,758}{1,431} = 2.710,32 \text{ kNm}$$

Perhitungan Delta Momen *Resistance*

$$\begin{aligned} M_{R \text{ rencana}} &= M_D \times SF \text{ rencana} \\ &= 2.710,32 \times 1,5 \\ &= 4.065,48 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta M_R &= M_{R \text{ rencana}} - M_{R \text{ eksisting}} \\ &= 4.065,48 - 3.875,758 \\ &= 189,722 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan $T_{\text{allowbale}}$

$$\begin{aligned} T_{\text{all}} &= T_{\text{ult}} \left(\frac{1}{F_{SID} \cdot F_{SCR} \cdot F_{SCD} \cdot F_{SBD}} \right) = \\ &200 \left(\frac{1}{1,3 \cdot 1,75 \cdot 1,25 \cdot 1,15} \right) = 61,156 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Perhitungan Jumlah Kebutuhan Geotextile

Layer 1

$$\begin{aligned} T_i &= Y = 13,511 \text{ m} \\ M_{\text{geotextile}} &= T_{\text{all}} \times T_i \\ &= 61,156 \times 13,511 \\ &= 826,282 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Sigma M_{\text{geotextile}} \geq \Delta M_R$$

826,282 kNm \geq 189,722 kNm(CUKUP).

Karena sudah cukup memenuhi, maka jumlah kebutuhan geotextile untuk parameter tanah A kemiringan 1:1,5 adalah satu layer geotextile.

Rekapitulasi perhitungan jumlah kebutuhan perkuatan disajikan dalam Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 tersebut terlihat bahwa untuk tanah homogen, yaitu parameter tanah A hingga C, jumlah kebutuhan perkuatan dengan geotextile 2D dan 3D adalah relatif sama. Sedangkan untuk tanah heterogen, yaitu data tanah 1 dan 2, jumlah kebutuhan perkuatan antara 2D dan 3D adalah berbeda. Pada data tanah 1 kemiringan 1:1,5 dan 1:2,5, jumlah kebutuhan perkuatan geotextile 3D lebih sedikit daripada 2D. Terlebih pada kemiringan 1:1,5 kebutuhan geotextile 3D lebih sedikit hingga setengah dari 2D. Untuk data tanah 2 kemiringan 1:1,5, jumlah kebutuhan perkuatan geotextile 3D lebih banyak apabila dibandingkan dengan 3D. Sedangkan untuk kemiringan 1:2,5 dan 1:3,5 jumlah kebutuhan perkuatan geotextile 3D lebih sedikit daripada 2D namun tidak signifikan. Perbedaan tersebut dapat diakibatkan oleh perbedaan kondisi tanah dasar dan kemiringan lereng.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan perbandingan hasil analisa stabilitas lereng 2D dan 3D diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Untuk jenis tanah yang sama, faktor keamanan yang dihasilkan dari analisa 2D dan 3D adalah berbeda. Besar perbedaannya bervariasi tergantung dari masing-masing data tanah. Rasio perbedaan faktor keamanan 3D dan 2D yang diperoleh adalah antara 0,75 – 1,9. Pada tanah yang homogen, untuk tanah non kohesif memiliki rasio faktor keamanan 3D dan 2D kurang dari 1 sedangkan untuk tanah kohesif, rasio faktor keamanan 3D dan 2D adalah lebih dari satu. Pada tanah yang heterogen, rasio faktor keamanan 3D dan 2D sebagian besar adalah lebih dari 1 namun ada pula yang kurang dari 1. Perbedaan ini tergantung dari jenis tanah dan kemiringan lereng. (2) Semakin landai kemiringan lereng, maka faktor keamanan baik 2D maupun 3D adalah semakin meningkat. Pada tanah homogen, semakin panjang bidang longsor 3D (ls/H), maka faktor keamanan 3D akan semakin menurun untuk tanah kohesif dan semakin meningkat untuk tanah non kohesif. Hal ini berarti semakin panjang bidang longsor maka faktor keamanan 3D semakin mendekati faktor keamanan 2D. Lain halnya dengan tanah heterogen, semakin panjang bidang longsor, maka faktor keamanan 3D akan semakin menurun. (3) Jumlah kebutuhan perkuatan dengan geotextile untuk

tanah homogen antara analisa 2D dan 3D relatif sama. Sedangkan untuk tanah heterogen, pada suatu kondisi tanah tertentu, jumlah perkuatan yang dibutuhkan apabila dianalisa dengan 3D lebih banyak daripada analisa dengan 2D. Namun pada suatu kondisi tanah yang lain, jumlah perkuatan yang dibutuhkan apabila analisa dengan 3D lebih sedikit daripada analisa dengan 2D.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. T. K. Sari, Y. E. Putri, Y. R. Savitri, A. R. Amalia, N. F. Margini, and D. A. D. Nusantara, "The comparison between 2-D and 3-D slope stability analysis based on reinforcement requirements," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 10, no. 5, pp. 2082–2088, 2020, doi: 10.18517/ijaseit.10.5.12815.
- [2] M. M. B. Azzouz, By Amr S, "Loaded areas on cohesive slopes," *Geotech. Eng.*, vol. 109, no. 5, pp. 724–729, 1983.
- [3] H. J. Hovland, "Three dimensional slope stability analysis method," *ASCE*, vol. 103, no. GT 9, pp. 971–986, 1977.
- [4] K. Ugai, "Three-dimensional slope stability analysis by slice methods," in *Proceedings of the 6th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*, 1988, pp. 1369–1374.
- [5] A. Gens, J. N. Hutchinson, and S. Cavounidis, "Three-dimensional analysis of slides in cohesive soils," *Geotechnique*, no. 1, pp. 1–23, 1988.
- [6] Z. Xing, "Three-dimensional stability analysis of concave slopes in plan view," *ASCE J. Geotech. Eng. Div.*, vol. 114, no. 6, pp. 658–671, 1988.
- [7] O. Hungr, "Evaluation of a three-dimensional method of slope stability analysis," *Can. Geotech.*, vol. 26, pp. 679–686, 1989.
- [8] Y. J. Chen, .Y., Yin, J.H., Wang, "The three-dimensional slope stability analysis: recent advances and a forward look," *Adv. Earth Struct.*, no. Gsp 151, pp. 1–42, 2006.
- [9] C. Y.M., "Three-dimensional asymmetrical slope stability analysis-extension of bishops, janbus, and morgenstern prices techniques," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 12, no. 133, pp. 1544–1555, 2007.
- [10] J. G.,Sun ; H., Zheng; W., "A global procedure for evaluating stability of three-dimensional slopes," *Nat. Hazards*, vol. 61, no. 3, pp. 1083–1098, 2011.
- [11] R. H. Chen and J. L. Chameau, "Three-dimensional limit equilibrium analysis of slopes," *Geotechnique*, vol. 33, no. 1, pp. 31–40, 1983, doi: 10.1680/geot.1983.33.1.31.
- [12] J. E. Thomaz and C. W. Lovell, "Three-dimensional slope stability analysis with random generation of surfaces," *Proc. 5th Int. Symp. Landslides*, vol. 1, pp. 777–781, 1988.
- [13] Z. Chen, H. Mi, F. Zhang, and X. Wang, "A simplified method for 3D slope stability analysis," *Can. Geot.*, vol. 683, pp. 675–683, 2003, doi: 10.1139/T03-002.
- [14] J. C. Y. Jiang, "The effect of strength envelope nonlinearity on slope stability computations," *Can. Geotech. Journal*, vol. 40, pp. 308–325, 2003.
- [15] E. Bahsan and R. Fakhriyyanti, "Comparison of 2D and 3D stability analyses for natural slope," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 662–667, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.35.23085.
- [16] H. Zebarjadi Dana, R. Khaloo Kakaie, and R. Rafiee, "Effects of geometrical and geomechanical properties on slope stability of open-pit mines using 2D and 3D finite difference methods," *J. Min. Environ.*, vol. 9, no. 4, pp. 941–957, 2018, doi: 10.22044/jme.2018.7149.1562.